

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2006年7月20日 (20.07.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/075702 A1(51) 国際特許分類:
G02F 1/01 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2006/300372

(22) 国際出願日: 2006年1月13日 (13.01.2006)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2005-008207 2005年1月14日 (14.01.2005) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 橋詰 泰彰 (HASHIZUME, Yasuaki) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 井上 靖之 (INOUE, Yasuyuki) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 才田 隆志 (SAIDA, Takashi) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 杉

田 彰夫 (SUGITA, Akio) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 谷 義一, 外 (TANI, Yoshikazu et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂2丁目6-2 O Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

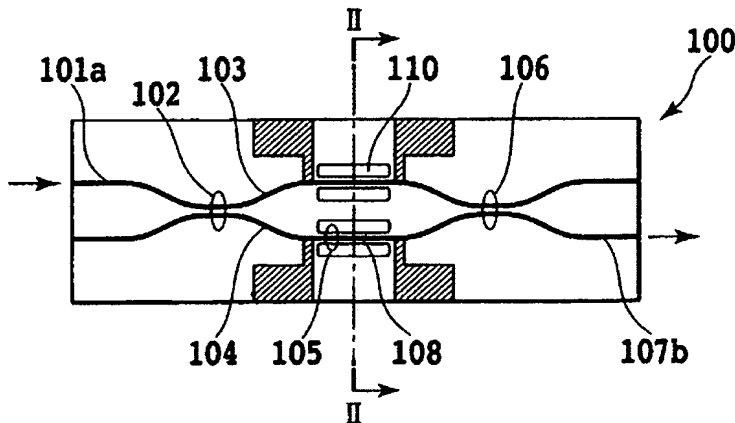
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: WAVEGUIDE TYPE VARIABLE LIGHT ATTENUATOR

(54) 発明の名称: 導波路型可変光減衰器



(57) Abstract: A waveguide type variable light attenuator having a small polarization dependent loss. A polarization mode coupling is permitted to be -25dB or below by setting a waveguide birefringent index (absolute value) at first and second optical coupler sections at 3.5×10^{-4} or more, and influence of polarization dependent loss due to the polarization mode coupling at a cross port of the first and second optical couplers is suppressed. In addition or merely, an arm waveguide length may be designed to be an integral multiple of a beat length obtained by dividing a wavelength of a using light by a waveguide birefringent index.

(57) 要約: 偏波依存性の小さな導波路型可変光減衰器を提供する。第1および第2の光カプラ部での導波路複屈折率(絶対値)を 3.5×10^{-4} 以上に設定することで、偏波モード結合を-25dB以下にして、第1および第2の光カプラでのクロスポートにおける偏波モード結合に起因する偏波依存性の影響を抑制する。これに加え、又は単独に、アーム導波路長を、使用光波長を導波路複屈折で割って求められるビート長の整数倍に設計してもよい。



2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

導波路型可変光減衰器

技術分野

- [0001] 本発明は、基板上の光導波路で構成された導波路型可変光減衰器に関する。更に詳しくは、本発明は、その構成要素である光カプラにおける導波路複屈折を一定の値以上に設定して偏波モード結合を抑制するか、もしくはアーム導波路の長さを複屈折ビート長の整数倍に設定することにより、偏波依存性を抑制した偏波無依存導波路型可変光減衰器に関する。

背景技術

- [0002] 近年、通信容量の拡大のために複数の光波長を用いた光波長多重通信システム(WDMシステム)の開発が盛んである。光波長多重通信システムでは、非線形抑圧やクロストーク抑圧の観点から、各波長信号のレベルを等しくすることが求められる。現在、このレベル等化のために導波路型可変光減衰器が広く用いられようとしている。導波路型可変光減衰器は、アレイ化などの集積化が容易であるため、経済化や小型化の観点で、それ以外のバルク型・磁気光学型・MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 型可変光減衰器よりも有利である。
- [0003] 図面を用いて導波路型可変光減衰器の説明を行う。図8に従来の代表的な導波路型可変光減衰器の平面図を示す。この導波路型可変光減衰器100は、入力導波路101a、101b、第1の光カプラ102、2本のアーム導波路103、104、それらアーム導波路上に配置された位相制御器105、第2の光カプラ106、出力導波路107a、107b、および薄膜ヒータ108を有する。110は後述する応力解放溝である。
- [0004] 図9は、上記の応力解放溝110が形成されていない従来例を想定した場合の図8のIX-IX切断線に沿う拡大断面図である。図9に示すように、導波路型可変光減衰器100の基板として熱伝導性に優れたシリコン基板109が使われ、埋め込まれた石英系導波路103、104の表面に薄膜ヒータ108が配置された構成となっている。
- [0005] その導波路型可変光減衰器100の動作原理を以下に簡単に説明する。入力導波路101aから入射された光は、第1の光カプラ102で2分岐されて2本のアーム導波路

103, 104に分かれる。そして、位相制御器105を具備したアーム導波路103, 104を伝搬した光は再度第2の光カプラ106で合波されることにより互いに干渉して、互いの位相が一致している場合にはクロスポート出力導波路107bに、互いの位相が π ずれている場合にはスルーポート出力導波路107aに、そして、その中間の状態の場合には互いの位相差に応じて両方の出力導波路107a, 107bからそれぞれ光が出力される。第2の光カプラ106に入射するときの2つの光の位相関係は、アーム導波路104に設けた位相制御器105で制御される。位相制御器105として、石英系導波路103, 104上に配置された薄膜ヒータ108からなる熱光学位相制御器がよく用いられる。熱光学効果は、原理的には偏波依存性のない現象であるため、電気光学効果や光弾性効果に比べて、偏波依存性が少ないという特徴を有している。

[0006] 上述のとおり、熱光学効果を用いた従来の導波路型可変光減衰器は、アレイ化など集積化が容易であるため、電気光学効果や光弾性効果などの他技術を用いた可変光減衰器に比べて、経済化・小型化の観点から有利である。

[0007] しかしながら、実際には、熱光学効果を用いた従来の導波路型可変光減衰器は、可変光減衰器の減衰量を増やしたときに、偏波依存性 (polarization dependent loss : PDL) が大きくなるという問題点を有していた。図9の断面構造を有する可変光減衰器の光減衰量とPDLとの関係を図10に示す。図10に示すように、15dBの光減衰量において4dB近くの大きなPDLが発生している。光減衰時のPDLが大きいということは、光ファイバ中の偏波状態を規定しない現行の光通信システム運用上極めて大きな問題であり、これが導波路型可変光減衰器の普及を妨げている最大の原因であった。

[0008] このように、従来の導波路型可変光減衰器は可変光減衰器の光減衰量を増やしたときに、光減衰器の偏波依存性が大きいという解決すべき点を有していた。

[0009] 非特許文献1: Y. Inoue et al., "Polarization sensitivity of a silica waveguide thermo-optic phase shifter for planar lightwave circuits," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 4, no. 1, pp. 36-38, Jan. 1992.

非特許文献2: KIM et al., "Limitation of PMD Compensation Due to Polarization-Dependent Loss in High-Speed Optical Transmission Links," IEEE PHOTONICS TEC

HNOLOGY LETTERS, VOL. 14, NO. 1, JANUARY 2002.

発明の開示

- [0010] 本発明の目的は、導波路型可変光減衰器の偏波依存性の問題を解消することにより、偏波依存性の小さな導波路型可変光減衰器を提供することである。
- [0011] 上記目的を達成するため、本発明の第1の態様は、基板上に形成された導波路で構成される導波路型可変光減衰器において、前記可変光減衰器が、入力導波路、第1の光カプラ、第2の光カプラ、前記第1と第2の光カプラを結ぶ2本のアーム導波路、および出力導波路から構成されており、前記第1と第2の光カプラは前記2本のアーム導波路が近接する領域を含み構成される方向性結合器であって、特に、前記第1、第2の光カプラにおける偏波モード結合が -25dB 以下であることを特徴とする。
- [0012] ここで、前記第1、第2の光カプラを構成する該光カプラ部分での導波路の複屈折率の絶対値が 3.5×10^{-4} 以上であることを特徴とすることができる。
- [0013] また、前記第1と第2の光カプラが、前記2本のアーム導波路を近接して構成する方向性結合器であることを特徴とすることができる。
- [0014] さらに、前記アーム導波路の長さが、使用光波長を導波路複屈折で割って求められるビート長の整数倍に設計されていることを特徴とすることができる。
- [0015] また、好ましくは、前記2本のアーム導波路の少なくとも一方に位相制御器を具備しており、可変光減衰器もしくは光スイッチとして機能するとすることができる。
- [0016] また、好ましくは、前記基板がシリコン基板であり、前記導波路が石英系ガラス導波路であることができる。
- [0017] 上記構成により、本発明によれば、光減衰時のPDL(偏波依存性)が小さな導波路型可変光減衰器、光スイッチおよび、光フィルタを実現することが可能となる。この結果として、本発明によれば、小型で集積性に優れた導波路型可変光減衰器、光スイッチおよび、光フィルタが実用的になり、そのため、本発明は、光波長多重通信システムの通信装置等の経済化等に寄与する。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]図1は本発明の第1の実施形態の導波路型可変光減衰器の構成を示す平面

図である。

[図2]図2は本発明の第1の実施形態の導波路型可変光減衰器の断面構造を拡大して示す断面拡大図である。

[図3A]図3Aは本発明の第1の実施形態の導波路型可変光減衰器の導波路作製工程を示す工程図である。

[図3B]図3Bは本発明の第1の実施形態の導波路型可変光減衰器の導波路作製工程を示す工程図である。

[図3C]図3Cは本発明の第1の実施形態の導波路型可変光減衰器の導波路作製工程を示す工程図である。

[図3D]図3Dは本発明の第1の実施形態の導波路型可変光減衰器の導波路作製工程を示す工程図である。

[図3E]図3Eは本発明の第1の実施形態の導波路型可変光減衰器の導波路作製工程を示す工程図である。

[図4]図4は導波路複屈折と方向性結合器クロスポートにおける偏波モード結合量の関係を示す特性図である。

[図5]図5は本発明の第1の実施形態の導波路型可変光減衰器における光減衰量と偏波依存損失(PDL)との関係を示す特性図である。

[図6]図6は本発明の第2の実施形態の可変光減衰器における光減衰量と偏波依存損失(PDL)との関係を示す特性図である。

[図7]図7は本発明の第3の実施形態の導波路型可変光減衰器における光減衰量と偏波依存損失(PDL)との関係を示す特性図である。

[図8]図8は従来技術による導波路型可変光減衰器の構成を示す平面図である。

[図9]図9は従来技術による導波路型可変光減衰器の断面構造を拡大して示す断面拡大図である。

[図10]図10は従来技術の導波路型可変光減衰器における光減衰量と偏波依存損失(PDL)との関係を示す特性図である。

[図11]図11は従来技術による応力解放溝付き導波路型可変光減衰器の断面構造を拡大して示す断面拡大図である。

[図12]図12は従来技術の応力解放溝付き可変光減衰器における光減衰量と偏波依存損失(PDL)との関係を示す特性図である。

発明を実施するための最良の形態

[0019] (偏波依存性発生モデルと偏波依存性を抑圧するための必要条件)

具体的な本発明の実施形態を説明する前に、導波路型可変光減衰器の偏波依存性の原因を解析した結果を述べる。

[0020] 石英系ガラス中の熱光学効果が基本的に偏波依存性を有しない現象であることは従来技術の項に述べた。では何故、導波路型可変光減衰器が偏波依存性を有するかを、図8と図9を用いて以下に説明する。偏波依存性の主たる原因としては次の2つが考えられる。1つは、熱光学位相制御器105の偏波依存性であり、もう1つは光カブラ102, 106における偏波モード結合である。

[0021] まず、前者の熱光学位相制御器105の偏波依存性についての報告が、非特許文献1になされている。その報告内容を簡単に説明すると、次の通りである。薄膜ヒータ108で局所的に加熱された石英系導波路103, 104は膨張しようとする。その場合、基板109と垂直な方向(図9の上方向)へは膨張することができるが、基板109と平行方向(図9の横方向)へは、周囲を加熱されない石英系ガラス(クラッド)111で囲まれているため、膨張することができない。この結果として、基板109の表面と平行方向に強い圧縮応力が発生する。この圧縮応力は、光弾性効果のために導波路(コア)103, 104の屈折率を増加させる。従って、薄膜ヒータ108の直下の導波路103, 104は、温度上昇に伴う熱光学効果とともに、局所的なガラスの熱膨張に起因する光弾性効果により屈折率が増加する。このため、熱光学効果自体には偏波依存性がないにかかわらず、熱膨張で生じる応力に異方性があるため、光弾性効果による屈折率変化が偏波依存性を有することとなる。

[0022] この光弾性効果による熱光学位相制御器の偏波依存性は、図11に示すように、熱光学位相制御器105(並びに薄膜ヒータ108)の両側に応力解放溝110を形成することで、ある程度抑制できる。図11に示す応力解放溝110を形成した可変光減衰器の光減衰量とPDLとの関係を図12に示す。図9の断面構造の可変光減衰器では15 dB減衰時のPDLが3.8 dBであったものが(図10を参照)、図11の応力解放溝付き

可変光減衰器では1.7dBと、PDLが半分以下の値に低減できている。しかしながら、15dB減衰時のPDLが1.7dBという値は、現行の光通信システムの運用上十分な値ではなく、更なるPDLの抑圧が必要であった。本発明では、15dB減衰時のPDLが、実際に現行の光通信システムの運用上必要な値と要求されている、0.5dB以下となることを目標とした(非特許文献2)。

[0023] 薄膜ヒータ108の両側に配置した図11の応力解放溝110は、薄膜ヒータ108で生じた熱が導波路以外の領域を加熱するのを抑制する断熱溝としての機能も有しているため、熱光学位相制御器の低消費電力化にも有効である。

[0024] 次に、光カプラの偏波モード結合による偏波依存性について説明する。ここでは、光カプラとして、図8に示すような、2本の導波路を近接して構成される方向性結合器102、106を想定する。一般に、平面基板上の導波路では、擾乱が無い限り、偏波モード間の結合は生じない。しかし、方向性結合器部ではコアが近接するため、コアを上部クラッド層で埋め込む時に、その2つのコアがお互いに近づく方向に力を受ける。更に具体的には説明する以下のとおりである。火炎堆積法を用いて上部クラッドを形成するときに、ガラス微粒子をコアの上や周囲に堆積した後に行う透明化熱処理の過程で、ガラス微粒子が溶けて収縮しながらコアを覆う。ところが、2つのコアに挟まれた領域ではガラス微粒子の供給が不足するため、ガラスが粗になり、2つのコアは両外側から内側に押される。この圧力が導波路の光学主軸を傾けるため、偏波モード間の結合が生じる。そのため、方向性結合器で結合したクロスポート光の一部が偏波モード結合を起こす。一方、2つのコアが離れるに従い、光学主軸は元通り上下左右に戻るため、スルーポート光は偏波モード結合を生じない。このような現象は、方向性結合器の場合に限らず、2本のアーム導波路が近接する場合には必ず起こる。つまり、多モード干渉カプラや非対称X型分岐器においても入出力端では、2本のアーム導波路が近接するため、偏波モード結合が起こる。次に、光カプラにおける偏波モード結合が存在する場合の光の伝搬を解析する。この場合を、以下、図8を用いて説明する。第1の入力導波路(入力ポート)101aから第1のアーム導波路103を経て第1の出力導波路(出力ポート)107aに伝搬する光は次式(1)に、第1の入力導波路101aから第2のアーム導波路104を経て第1の出力導波路107aに伝搬する光は

次式(2)に、第1の入力導波路101aから第1のアーム導波路103を経て第2の出力導波路107bに伝搬する光は次式(3)に、第1の入力導波路101aから第2のアーム導波路104を経て第2の出力導波路107bに伝搬する光は次式(4)に、それぞれ書き表される。

[0025] 但し、次式行列の第1行はTE成分を、第2行はTM成分を示す。また $I_{\text{TE(TM)}}$: 入力光のTE(TM)成分、 κ : 光カプラの結合効率、 α : 光カプラにおける光学主軸の傾き、 $\theta_{1(2)\text{TE(TM)}}$: 第1(2)のアーム導波路103, 104におけるTE(TM)成分の位相変化量と定義する。ここで、光カプラにおけるクロスポート偏波モード結合量は $\sin 2\alpha$ で表される。

[0026] [数1]

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} \cos \alpha & -j \cdot \sin \alpha \\ -j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \sqrt{1 - \kappa^2} \begin{pmatrix} \cos \alpha & j \cdot \sin \alpha \\ j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{j\theta_{1TE}} & 0 \\ 0 & e^{j\theta_{1TM}} \end{pmatrix} \\ & \cdot \begin{pmatrix} \cos \alpha & -j \cdot \sin \alpha \\ -j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \sqrt{1 - \kappa^2} \begin{pmatrix} \cos \alpha & j \cdot \sin \alpha \\ j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{TE} \\ I_{TM} \end{pmatrix} \quad (1) \\ & = (1 - \kappa^2) \begin{pmatrix} I_{TE} e^{j\theta_{1TE}} \\ I_{TM} e^{j\theta_{1TM}} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

[0027] [数2]

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} \cos \alpha & -j \cdot \sin \alpha \\ -j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} j\kappa \begin{pmatrix} \cos \alpha & -j \cdot \sin \alpha \\ -j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{j\theta_{2TE}} & 0 \\ 0 & e^{j\theta_{2TM}} \end{pmatrix} \\ & \cdot \begin{pmatrix} \cos \alpha & j \cdot \sin \alpha \\ j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} j\kappa \begin{pmatrix} \cos \alpha & j \cdot \sin \alpha \\ j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{TE} \\ I_{TM} \end{pmatrix} \\ & = -\kappa^2 \begin{pmatrix} I_{TE} (e^{j\theta_{2TE}} \cos^2 2\alpha + e^{j\theta_{2TM}} \sin^2 2\alpha) + jI_{TM} (e^{j\theta_{2TE}} - e^{j\theta_{2TM}}) \sin 2\alpha \cos 2\alpha \\ jI_{TE} (-e^{j\theta_{2TE}} + e^{j\theta_{2TM}}) \sin 2\alpha \cos 2\alpha + I_{TM} (e^{j\theta_{2TE}} \sin^2 2\alpha + e^{j\theta_{2TM}} \cos^2 2\alpha) \end{pmatrix} \quad (2) \end{aligned}$$

[0028] [数3]

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} \cos \alpha & j \cdot \sin \alpha \\ j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} j\kappa \begin{pmatrix} \cos \alpha & j \cdot \sin \alpha \\ j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{j\theta_{1TE}} & 0 \\ 0 & e^{j\theta_{1TM}} \end{pmatrix} \\ & \cdot \begin{pmatrix} \cos \alpha & -j \cdot \sin \alpha \\ -j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \sqrt{1 - \kappa^2} \begin{pmatrix} \cos \alpha & j \cdot \sin \alpha \\ j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{TE} \\ I_{TM} \end{pmatrix} \quad (3) \\ & = j\kappa \sqrt{1 - \kappa^2} \begin{pmatrix} I_{TE} e^{j\theta_{1TE}} \cos 2\alpha + jI_{TM} e^{j\theta_{1TM}} \sin 2\alpha \\ jI_{TE} e^{j\theta_{1TE}} \sin 2\alpha + I_{TM} e^{j\theta_{1TM}} \cos 2\alpha \end{pmatrix} \end{aligned}$$

[0029] [数4]

$$\begin{aligned}
& I_1 \rightarrow \gamma - \lambda_2 \rightarrow 0_2 \\
& \begin{pmatrix} \cos \alpha & -j \cdot \sin \alpha \\ -j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \sqrt{1 - \kappa^2} \begin{pmatrix} \cos \alpha & j \cdot \sin \alpha \\ j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{j\theta_{2TE}} & 0 \\ 0 & e^{j\theta_{2TM}} \end{pmatrix} \\
& \cdot \begin{pmatrix} \cos \alpha & j \cdot \sin \alpha \\ j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} j\kappa \begin{pmatrix} \cos \alpha & j \cdot \sin \alpha \\ j \cdot \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{TE} \\ I_{TM} \end{pmatrix} \\
& = j\kappa \sqrt{1 - \kappa^2} \begin{pmatrix} I_{TE} e^{j\theta_{2TE}} \cos 2\alpha + jI_{TM} e^{j\theta_{2TE}} \sin 2\alpha \\ jI_{TE} e^{j\theta_{2TM}} \sin 2\alpha + I_{TM} e^{j\theta_{2TM}} \cos 2\alpha \end{pmatrix}
\end{aligned} \quad (4)$$

[0030] 第1の入力導波路101aから第1の出力導波路107aへのスルーポート出力は、上式(1)と上式(2)の和をとって、次式(5)となる。

[0031] [数5]

$$\begin{pmatrix} I_{TE} \{ (1 - \kappa^2) e^{j\theta_{1TE}} - \kappa^2 (e^{j\theta_{2TE}} \cos^2 2\alpha + e^{j\theta_{2TM}} \sin^2 2\alpha) \} - jI_{TM} \kappa^2 (e^{j\theta_{2TE}} - e^{j\theta_{2TM}}) \sin 2\alpha \cos 2\alpha \\ - jI_{TE} \kappa^2 (-e^{j\theta_{2TE}} + e^{j\theta_{2TM}}) \sin 2\alpha \cos 2\alpha + I_{TM} \{ (1 - \kappa^2) e^{j\theta_{1TM}} - \kappa^2 (e^{j\theta_{2TE}} \sin^2 2\alpha + e^{j\theta_{2TM}} \cos^2 2\alpha) \} \end{pmatrix} \quad (5)$$

[0032] 上式(5)において、見通しをよくするために光カプラの結合率として次式(6)を仮定する。

[0033] [数6]

$$\kappa^2 = \frac{1}{2} \quad (6)$$

[0034] スルーポート出力が最も減衰する条件は、2本のアーム導波路長が等しいときであるから、その条件は次式(7)で表される。

[0035] [数7]

$$e^{j\theta_{1TE}} = e^{j\theta_{2TE}}, e^{j\theta_{1TM}} = e^{j\theta_{2TM}} \quad (7)$$

[0036] 上式(5)に上式(6)と上式(7)を代入したとき、偏光状態に依存せずに常に上式(5) = 0 が成り立つための条件を求める。これが偏波無依存条件となる。ここで偏光状態に依存しないとは I_{TE} と I_{TM} の強度比および位相差に依存しないという意味である。

[0037] [数8]

$$\frac{(e^{j\theta_{1TE}} - e^{j\theta_{1TM}}) \sin 2\alpha}{2} \begin{pmatrix} I_{TE} \sin 2\alpha - jI_{TM} \cos 2\alpha \\ jI_{TE} \cos 2\alpha - I_{TM} \sin 2\alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

[0038] 上式(8)から偏波無依存条件として次式(9)が導出される。但し m は整数である。

[0039] [数9]

$$\begin{aligned} \sin 2\alpha &= 0 \\ \text{または、} & \\ \theta_{1TE} - \theta_{1TM} &= 2m\pi \end{aligned} \quad (9)$$

[0040] ここで、第1のアーム導波路103における、アーム導波路の長さを L 、使用波長を λ 、TM光の実効屈折率を n_{1TM} 、TE光の実効屈折率を n_{1TE} 、導波路複屈折を B とおくと、 θ_{1TE} 、 θ_{1TM} および B はそれぞれ次式(10)、(11)、(12)のように定義される。

[0041] [数10]

$$\theta_{1TE} = 2\pi \frac{n_{1TE} L}{\lambda} \quad (10)$$

[0042] [数11]

$$\theta_{1TM} = 2\pi \frac{n_{1TM} L}{\lambda} \quad (11)$$

[0043] [数12]

$$B = n_{1TM} - n_{1TE} \quad (12)$$

これら式(10)、(11)を上記式(9)の下段の式(以下、第2式と称する)に代入し、式(12)を適用すると、次式(13)が得られる。

[0044] [数13]

$$L = -m \frac{\lambda}{B} \quad (13)$$

[0045] すなわち、上記式(9)、(13)から、光カプラにおける偏波モード結合($\sin 2\alpha$)が0になるか、もしくはアーム導波路の長さ(L)が使用光波長(λ)を導波路複屈折(B)で割って求められるビート長の整数倍(m)であればスルーポート出力の偏波依存性は解消される。

[0046] 同様に、第1の入力導波路101aから第2の出力導波路107bへのクロスポート出力は上式(3)と上式(4)の和をとって次式(14)となる。

[0047] [数14]

$$j\kappa\sqrt{1-\kappa^2}\left(I_{TE}(e^{j\theta_{1TE}} + e^{j\theta_{2TE}})\cos 2\alpha + jI_{TM}(e^{j\theta_{1TM}} + e^{j\theta_{2TM}})\sin 2\alpha\right) \quad (14)$$

$$jI_{TE}(e^{j\theta_{1TE}} + e^{j\theta_{2TE}})\sin 2\alpha + I_{TM}(e^{j\theta_{1TM}} + e^{j\theta_{2TM}})\cos 2\alpha$$

[0048] クロスポート出力が最も減衰する条件は、2本のアーム導波路長差が使用光波長の1/2波長の場合である。この条件は次式(15)で表される。

[0049] [数15]

$$e^{j\theta_{1TE}} + e^{j\theta_{2TE}} = e^{j\theta_{1TM}} + e^{j\theta_{2TM}} = 0 \quad (15)$$

[0050] 上式(14)に上式(15)を代入したとき、偏光状態に依存せずに常に上式(14)=0が成り立つための条件を求める。これが偏波無依存条件となる。

[0051] [数16]

$$-\kappa\sqrt{1-\kappa^2}\sin 2\alpha\left(\frac{I_{TM}(e^{j\theta_{1TM}} - e^{j\theta_{1TE}})}{I_{TE}(e^{j\theta_{1TE}} - e^{j\theta_{1TM}})}\right) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

[0052] 上式(16)から偏波無依存条件として次式(17)が導出される。

[0053] [数17]

$$\sin 2\alpha = 0$$

または、

$$\theta_{1TE} - \theta_{1TM} = 2m\pi \quad (17)$$

[0054] 上式(17)と上式(9)は等しい。したがって、上式(17)から上式(13)も得られる。すなわち、光カプラにおける偏波モード結合($\sin 2\alpha$)が0になるか、もしくはアーム導波路の長さ(L)が使用光波長(λ)を導波路複屈折(B)で割って求められるビート長の整数倍(m)であればスルーポート出力およびクロスポート出力の偏波依存性は解消される。

[0055] 以上の考察により、導波路型可変光減衰器および光スイッチの偏波依存性を抑圧するための必要条件が求められる。

[0056] 以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

[第1の実施形態]

図1に、本発明の第1の実施形態である導波路型可変光源減衰器の構成を示す。この導波路型可変光減衰器100は、入力導波路101a、第1の光カプラ102、2本のアーム導波路103、104、それらアーム導波路上に配置された位相制御器105、第2

の光カプラ106、出力導波路107b、薄膜ヒータ108、および応力解放溝110を有する。本実施形態では、入力導波路101aに対してクロスポートに位置する導波路107bを出力導波路として用いる。クロスポート出力を用いる理由は、第1および第2の光カプラ102、106として用いる方向性結合器を同一設計とした場合に、両者の結合率がほぼ等しくなり、その結果として、高い可変光減衰量が得られるためである。

[0057] 図2に図1のII-II切断線に沿う拡大断面図を示す。基本的な回路構成は従来技術に述べた図11の構成と同じである。本実施形態と従来技術との相違点は、第1および第2の光カプラを構成する方向性結合器102、106の導波路複屈折率の絶対値を 3.5×10^{-4} 以上に設定していることである。ここで、導波路複屈折Bは、式(12)で定義したように、TMモードの実効屈折率 n_{TM} とTEモードの実効屈折率 n_{TE} との差($B = n_{TM} - n_{TE}$)である。

[0058] 本実施形態の導波路作製工程を、図3A～3Eの工程図を用いて簡単に説明する。シリコン基板109上に、火炎堆積法(FHD)で SiO_2 を主成分にした下部クラッドガラス微粒子301、 SiO_2 に GeO_2 を添加したコアガラス微粒子302をそれぞれ堆積する(図3A参照)。この段階では、ガラス微粒子301と302は、光を散乱するため、白い膜に見える。

[0059] その後、1,000℃以上の高温でガラスの透明化を行なう。ガラス微粒子301と302を表面に堆積したシリコン基板109を徐々に加熱していくと、ガラス微粒子が溶けて、透明なガラス膜が形成される。この時に、下部クラッドガラス層303の厚さが30 μm 厚となるように、またコアガラス層304の厚さが7 μm 厚となるように、ガラス微粒子の堆積量をそれぞれ調整している(図3B参照)。

[0060] 引き続き、フォトリソグラフィ技術と反応性イオンエッチング(RIE)によって、コアガラス層304のパターン化を行なう。これにより、下部クラッドガラス層303上にコア305が形成される(図3C参照)。

[0061] SiO_2 上部クラッドガラス微粒子306を、火炎堆積法(FHD)により、下部クラッドガラス層303とコア305の上部に堆積する(図3D参照)。

[0062] 最後に高温透明化を行ない、透明な上部クラッドガラス層307が形成された埋め込み導波路を作製する(図3E参照)。上部クラッドガラス層307にはドーパントを添加す

ることでガラス転移温度を下げ、上部クラッドガラス層307の高温透明化の工程でコア305が変形しないようにしている。なお、図3Eに示す上部クラッドガラス層(以下、上部クラッド層と称する)307と下部クラッドガラス層(以下、下部クラッド層と称する)303が図2のクラッド111に対応し、コア305が図2の導波路(コア)103, 104に対応している。

[0063] 導波路複屈折は、コア305の縦横比や、基板109、コアガラス305、クラッドガラス303, 307等の熱膨張係数、およびこれらのガラスの軟化温度に依存する。そのため、これらの値を適宜選ぶことにより導波路複屈折を制御することができる。

[0064] 導波路型可変光減衰器を作製するために、図3A～3Eで説明した工程に加えて、上部クラッド層307の表面へ図1と図2に図示した薄膜ヒータ108および配線電極を形成し、更に熱光学位相制御器105で発生する熱応力による偏波依存性を抑制するために図1と図2に図示した応力解放溝110を形成する。

[0065] 本発明の実施形態の具体例を説明する前に、先に論じた偏波依存性発生モデルを実証するために、まず方向性結合器部での偏波モード結合を評価した。また、その偏波モード結合量が導波路複屈折に依存するのではないかという観点で、それら両者の相関関係を求めた。方向性結合器部での偏波モード結合量と導波路複屈折の関係を図4に示す。ここで、横軸は導波路複屈折を、縦軸は方向性結合器1段を透過した後のクロスポート出力における偏波モード結合量を示す。図4から、クロスポート出力における偏波モード結合量と導波路複屈折との間に強い相関があることが分かる。この現象は、「モード結合量は結合を起こす2モード(ここでは2つの偏波モード)間の伝搬定数差(導波路複屈折)に反比例するため」とであると解釈できる。また、図4において、同一の導波路複屈折に対して偏波モード結合量がある程度ばらついてるのは、偏波モード結合が様々な攪乱により変動するためと解釈できる。

[0066] 光カプラ102, 106における偏波モード結合量、すなわち $|\sin 2\alpha|$ を -25dB 以下とすれば、上式(16)の左辺の値は最大でも入力レベルに対して -25dB 以下となる。言い換えれば、入力光の偏波に依存した光レベルは、入力レベルに対して -25dB である。したがって、光減衰量 15dB でのPDLは次式(18)で求められるPDL以下に抑圧できる。

[0067] [数18]

$$PDL = ABS \left[10 \log \left(\frac{10^{\frac{15}{10}} + 10^{\frac{25}{10}} \cdot \frac{1}{2}}{10^{\frac{15}{10}} - 10^{\frac{25}{10}} \cdot \frac{1}{2}} \right) \right] = 0.43 \quad (18)$$

すなわち、光源推量15dBでのPDLを0.5dB以下に抑圧できる。

[0068] 図4によると、導波路複屈折の絶対値を 3.5×10^{-4} 以上に設定することで、偏波モード結合量を-25dB以下にすることができる。すなわち、光減衰量15dBでのPDLを0.5dB以下に抑圧できる。よって、本実施形態の特徴を、第1および第2の光カプラ102, 106の偏波モード結合量を-25dB以下にすることであり、更には第1および第2の光カプラを構成する方向性結合器の導波路複屈折率(絶対値)を 3.5×10^{-4} 以上にすることができる。

[0069] 図5に、本発明の第1の実施形態として、実際に作製した導波路型可変光減衰器の減衰量とPDLとの相関関係を示す。本実施形態では、後述の第3の実施形態との比較のために、敢えてアーム導波路長をビート長の整数倍の条件から最も離れている約2.5倍の11mmとした。

[0070] 実際に作製した導波路の複屈折は、別途セナルモン(Senarmont)測定系で求めたところ 3.5×10^{-4} であった。このとき、図5に示すように、15dB減衰時のPDLは0.4dBとなり、当初目標とした0.5dB以下を実現した。

[0071] 本実施形態では、図1と図2に図示され多デバイスを導波路型可変光減衰器として説明を行っているが、第2の光カプラ106に入射するときの2つの光の位相差を0もしくは π の2値で使用するにより、図1と図2に示すデバイスは光スイッチとしても利用できる。これと同様に、以下に述べる本発明の他の実施形態も光スイッチとしても利用できる。

[0072] [第2の実施形態]

本発明の第2の実施形態は、上述の本発明の第1の実施形態と同じく、入力導波路に対して、クロスポート出力を出力導波路として用いる可変光減衰器であり、その基本構成は図1および図2と同じである。第1の実施形態と第2の実施形態の相違点は、第1の実施形態の特徴が、「第1および第2の光カプラを構成する方向性結合器

の導波路複屈折率の絶対値を 3.5×10^{-4} 以上に設定したこと」であったのに対して、第2の実施形態の特徴は、「アーム導波路の長さを、使用光波長を導波路複屈折で割って求められるビート長の整数倍に設定していること」である。

[0073] 第2の実施形態では、上式(17)の第2式の偏波依存条件に相当する。

[0074] 本実施形態で作製した導波路の複屈折は、 1.2×10^{-4} であった。この場合、導波路複屈折で使用光波長 $1.55 \mu\text{m}$ の偏波が一回転するビート長は 12.9mm と計算される。そこで、本実施形態では、アーム導波路104の長さをビート長に相当する 12.9mm と設計した。

[0075] 図6に、上記設計条件を適用して実際に作製した本実施形態の導波路型可変光減衰器の減衰量とPDLとの相関関係を示す。図6から、 15dB 減衰時のPDLが 0.9dB と、従来例に比較すると小さな値に抑制できたことが分かる。

[0076] [第3の実施形態]

本発明の第3の実施形態も、上述の本発明の第1と第2の実施形態と同じく、入力導波路101aに対して、クロスポート出力107aを出力導波路として用いる可変光減衰器である。その基本構成は図1および図2と同じである。第3の実施形態の特徴は、第1の実施形態の特徴である「第1および第2の光カプラを構成する方向性結合器の導波路複屈折率(絶対値)を 3.5×10^{-4} 以上に設定したこと」と第2の実施形態の特徴である「アーム導波路の長さを、使用光波長を導波路複屈折で割って求められるビート長の整数倍に設定していること」の両方を兼ね備えていることである。

[0077] 実際に作製した導波路の複屈折は、 3.5×10^{-4} であった。アーム導波路の長さはビート長の3倍である 13.3mm に設定した。

[0078] 図7に、実際に作製した第3の実施形態の導波路型可変光減衰器の減衰量とPDLとの相関関係を示す。 15dB 減衰時のPDLは 0.2dB 、更に 25dB 減衰時でもPDLは 0.6dB と極めて小さい値に抑制できていることが分かる。このように、「第1および第2の光カプラを構成する方向性結合器の導波路複屈折率(絶対値)を 3.5×10^{-4} 以上に設定すること」と「アーム導波路の長さを、使用光波長を導波路複屈折で割って求められるビート長の整数倍に設定すること」は独立に設計できることなので、好ましくは両者を同時に満足するよう可変光減衰器を作製することが好ましい。

[0079] [その他の実施形態]

上記では、本発明の好適な実施形態を例示して説明したが、本発明の実施形態は上記例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載の範囲内であれば、その構成部材等の置換、変更、追加、個数の増減、形状の設計変更等の各種変形は、全て本発明の実施形態に含まれる。

[0080] 例えば、上述の本発明の各実施形態では、作製法として火炎堆積法を想定しているが、埋め込み導波路の作製法としては火炎堆積法以外にもCVD法 (Chemical Vapor Deposition)、VPE法 (Vapor Phase Epitaxy) などの気相成長法や、スパッタ法などの物理堆積法もあり、それら作製法を適用した場合においても本発明は有効である。

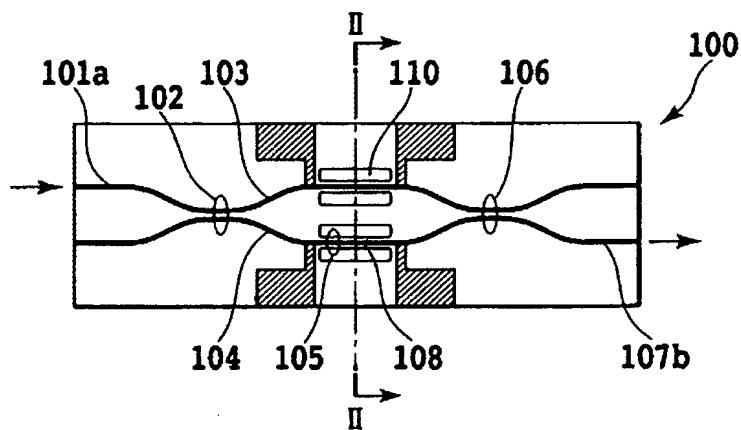
[0081] また、上述の本発明の各実施形態では、光カプラとして方向性結合器を想定しているが、多モード干渉型 (Multi-Mode Interference) 合分波器、非対称X型分岐器などにおいてもコアが近接する領域において、偏波モード結合が発生し、本発明を構成する光カプラとして有効である。つまり、光合分波器において偏波モード結合を生じる光カプラに対してはその形状に依存せずに有効である。

[0082] また、上述の本発明の各実施形態では、シリコン基板上に形成した石英系ガラス導波路を用いた光干渉計を示したが、その導波路材料がガラス以外の例えばポリイミド、シリコーン (silicone)、半導体、 LiNbO_3 などであっても本発明の上記の原理は適用可能である。また、基板の材質もシリコンに限定されるものではない。

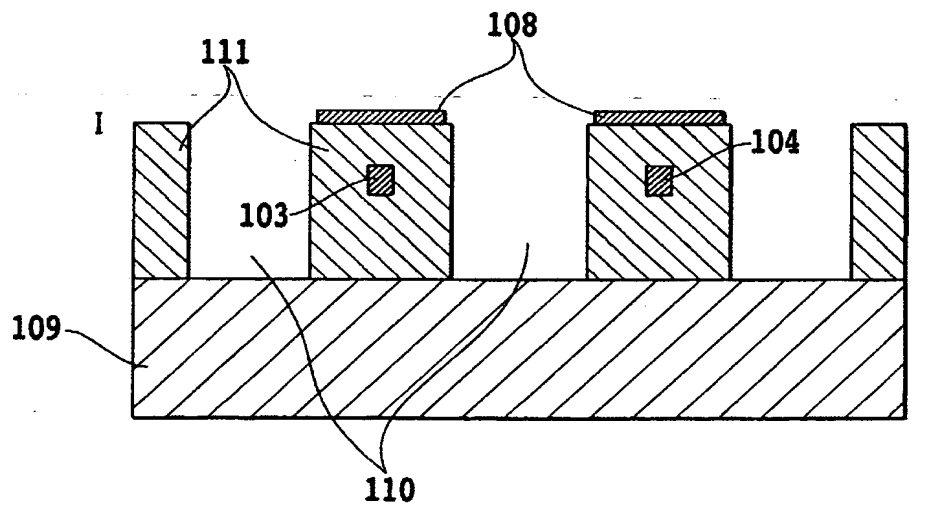
請求の範囲

- [1] 基板上に形成された導波路で構成される導波路型可変光減衰器において、
前記可変光減衰器が、入力導波路、第1の光カプラ、第2の光カプラ、前記第1と第2の光カプラを結ぶ2本のアーム導波路、および出力導波路から構成されており、前記第1と第2の光カプラはそれぞれ前記2本のアーム導波路が近接する領域を含み構成される方向性結合器であって、特に、
前記第1、第2の光カプラにおける偏波モード結合が -25dB 以下であることを特徴とする導波路型可変光減衰器。
- [2] 前記第1、第2の光カプラを構成する該光カプラ部分での導波路の複屈折率の絶対値が 3.5×10^{-4} 以上であることを特徴とする請求項1に記載の導波路型可変光減衰器。
- [3] 前記第1と第2の光カプラが、前記2本のアーム導波路を近接して構成する方向性結合器であることを特徴とする請求項1または2に記載の導波路型可変光減衰器。
- [4] 前記アーム導波路の長さが、使用光波長を導波路複屈折で割って求められるビート長の整数倍に設計されていることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の導波路型可変光減衰器。
- [5] 前記2本のアーム導波路の少なくとも一方に位相制御器を具備しており、可変光減衰器もしくは光スイッチとして機能することを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の導波路型可変光減衰器。
- [6] 前記基板がシリコン基板であり、前記導波路が石英系ガラス導波路であることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の導波路型可変光減衰器。

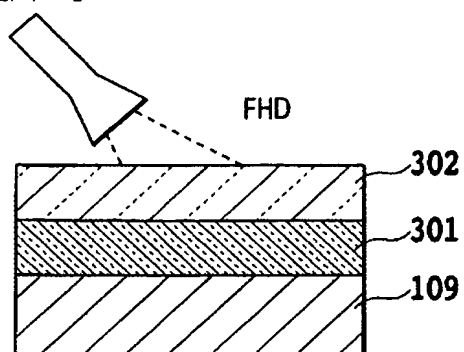
[図1]



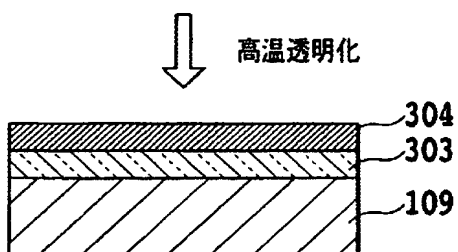
[図2]



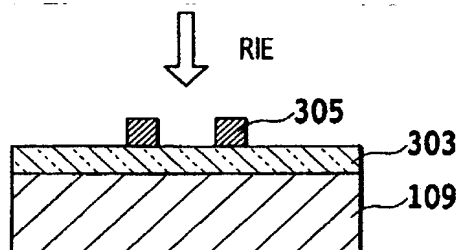
[図3A]



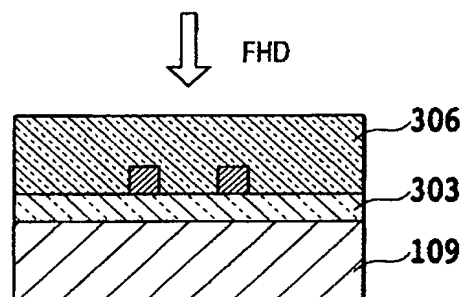
[図3B]



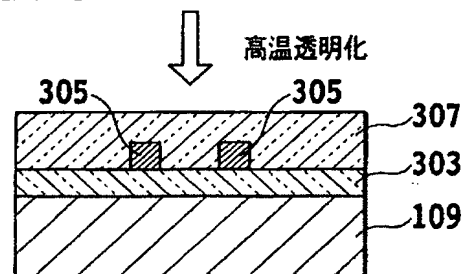
[図3C]



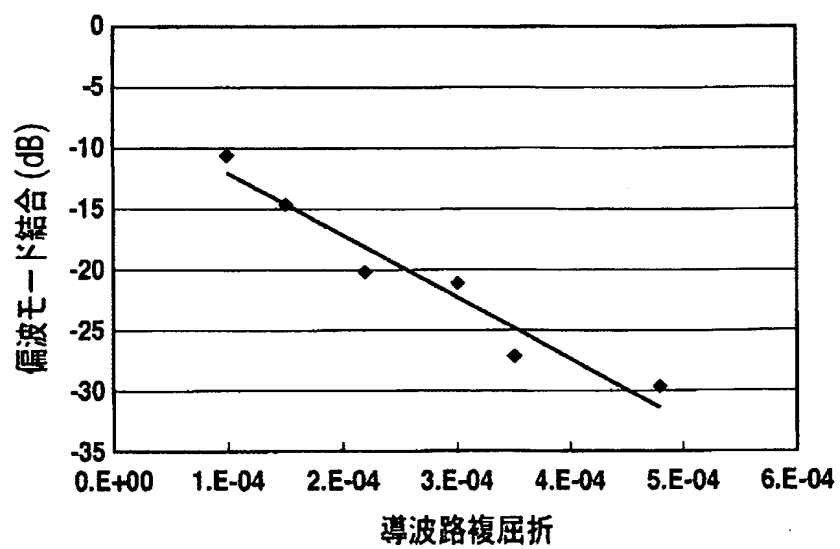
[図3D]



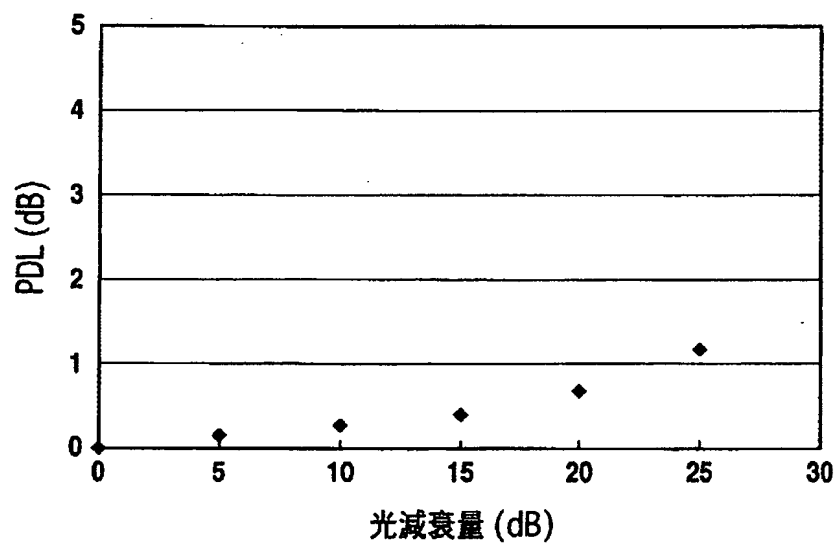
[図3E]



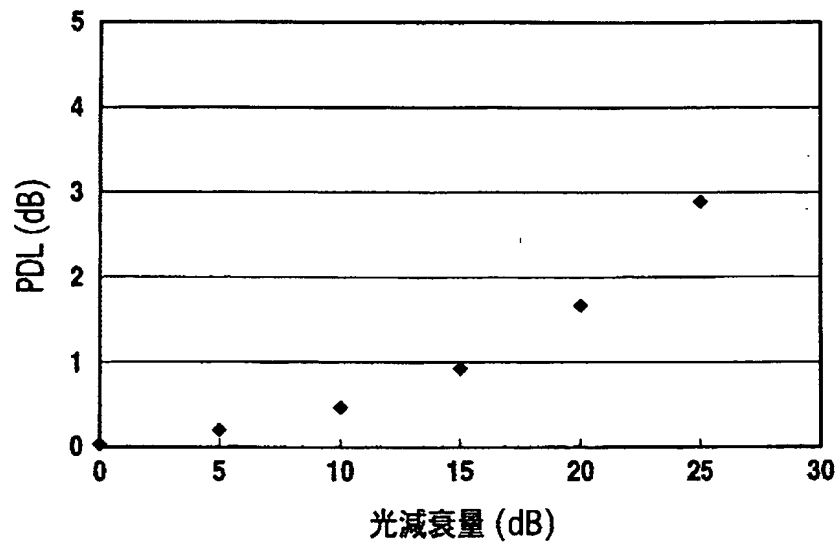
[図4]



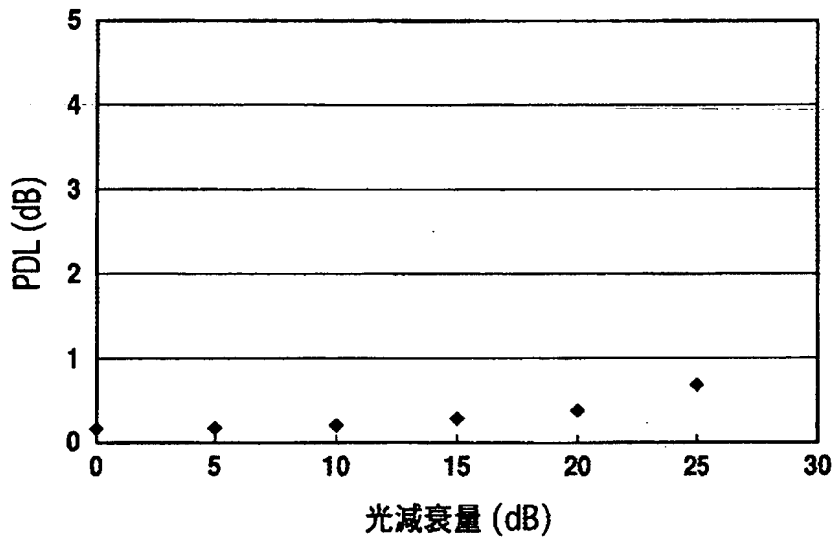
[図5]



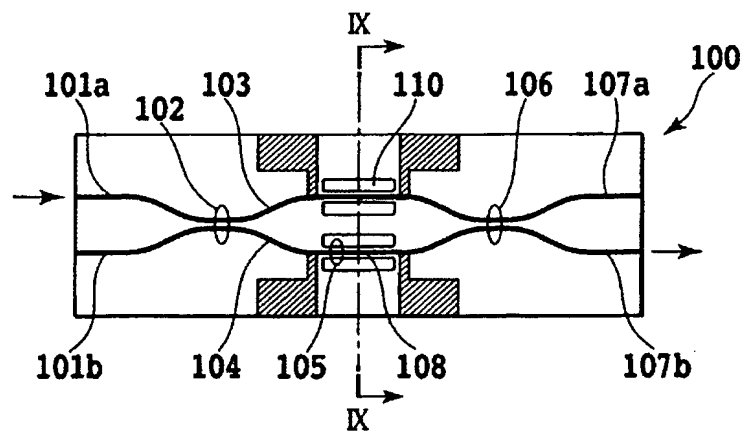
[図6]



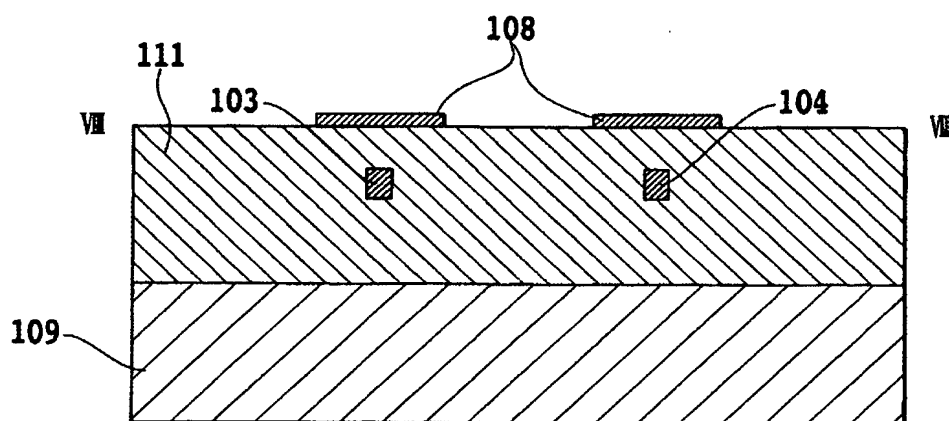
[図7]



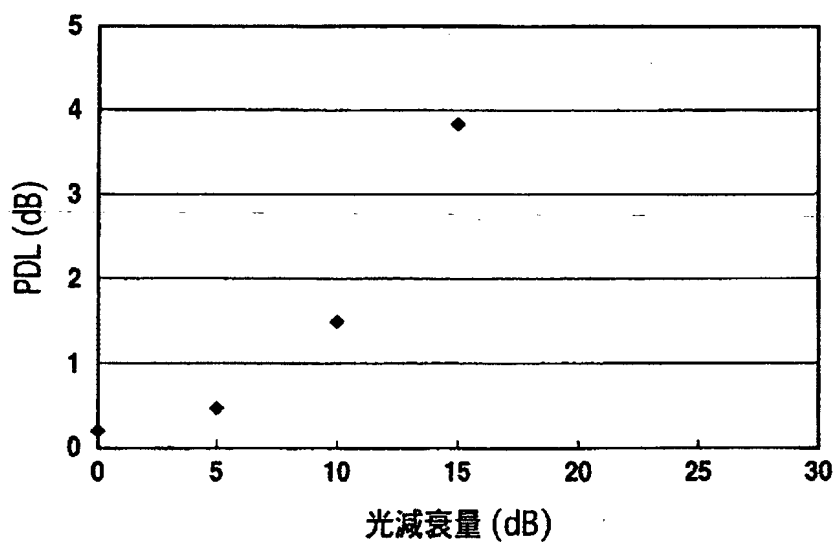
[図8]



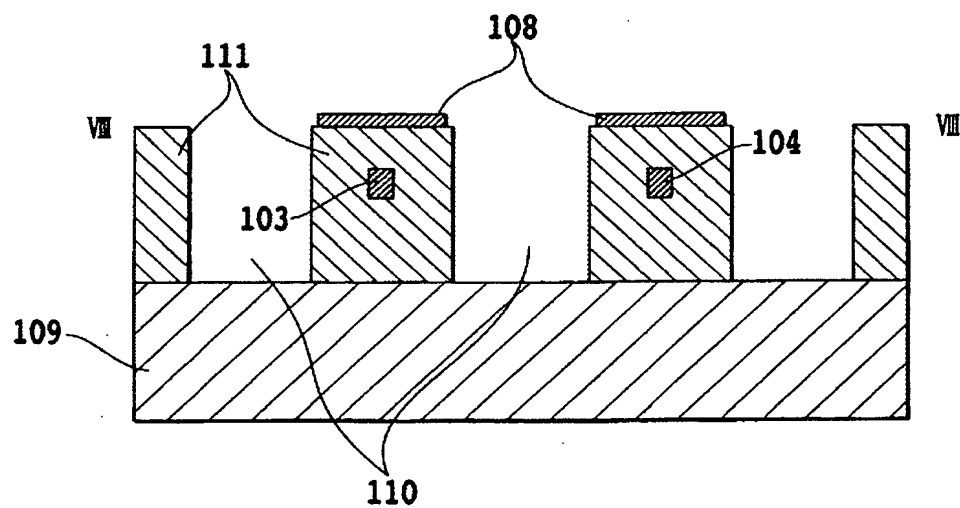
[図9]



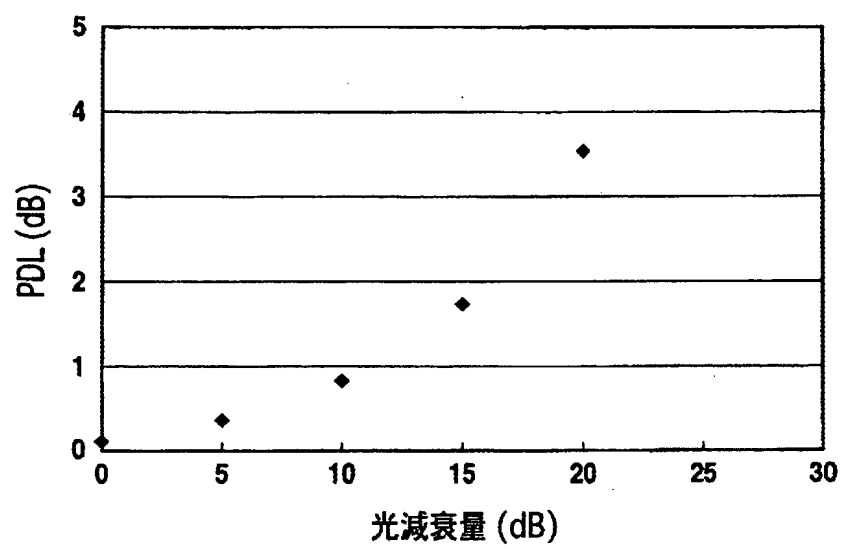
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/300372

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/01 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F1/01 (2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2006	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2006

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE, JST7580 (JDream2)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-507817 A (The Board of Trustees of Leland Stanford Jr. Univ.), 12 June, 2001 (12.06.01), Page 15, lines 15 to 18 & US 5920666 A & EP 1018044 A & WO 98/29769 A1	1-3, 5, 6
Y	JP 2004-133389 A (Fujikura Ltd.), 30 April, 2004 (30.04.04), Fig. 2 & US 2004-33002 A1 & EP 1391761 A2	1-3, 5, 6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 April, 2006 (14.04.06)

Date of mailing of the international search report

25 April, 2006 (25.04.06)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/300372

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,A	Narevich, R., Heise, G., Narevicius, E., Vorobeichik, I., Dieckroeger, J., Wang, S., Krabe, D., Novel wide-band low-PDL integrated variable optical attenuator in silica-on-silicon, Optical Fiber Communication Conference, 2005. Technical Digest. OFC/NFOEC, Vol.4, 06 March, 2005 (06.03.05)	1-6
P,A	Heise, G., Narevich, R., Simple model for polarization sensitivity of silica waveguide Mach-Zehnder interferometer, Photonics Technology Letters, Vol.17 Issue 10, 2005.12	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02F1/01 (2006.01)

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02F1/01 (2006.01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2006年
日本国実用新案登録公報	1996-2006年
日本国登録実用新案公報	1994-2006年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

IEEE、JST7580 (JDream2)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2001-507817 A (ザ・ボード・オブ・トラスティーズ・オブ・ザ・ レランド・スタンフォード・ジュニア・ユニバーシティ) 2001.06.12, 第15頁15行~18行 & US 5920666 A & EP 1018044 A & WO 98/29769 A1	1-3, 5, 6
Y	JP 2004-133389 A (株式会社フジクラ) 2004.04.30, 図2 & US 2004-33002 A1 & EP 1391761 A2	1-3, 5, 6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14.04.2006

国際調査報告の発送日

25.04.2006

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

三橋 健二

2X

3314

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P, A	Narevich, R. Heise, G. Narevicius, E. Vorobeichik, I. Dieckroeger, J. Wang, S. Krabe, D., Novel wide-band low-PDL integrated variable optical attenuator in silica-on-silicon, Optical Fiber Communication Conference, 2005. Technical Digest. OFC/NFOEC , Vol. 4, 2005. 03. 06	1-6
P, A	Heise, G. Narevich, R. , Simple model for polarization sensitivity of silica waveguide Mach-Zehnder interferometer, Photonics Technology Letters, Vol. 17 Issue 10, 2005. 12	1-6